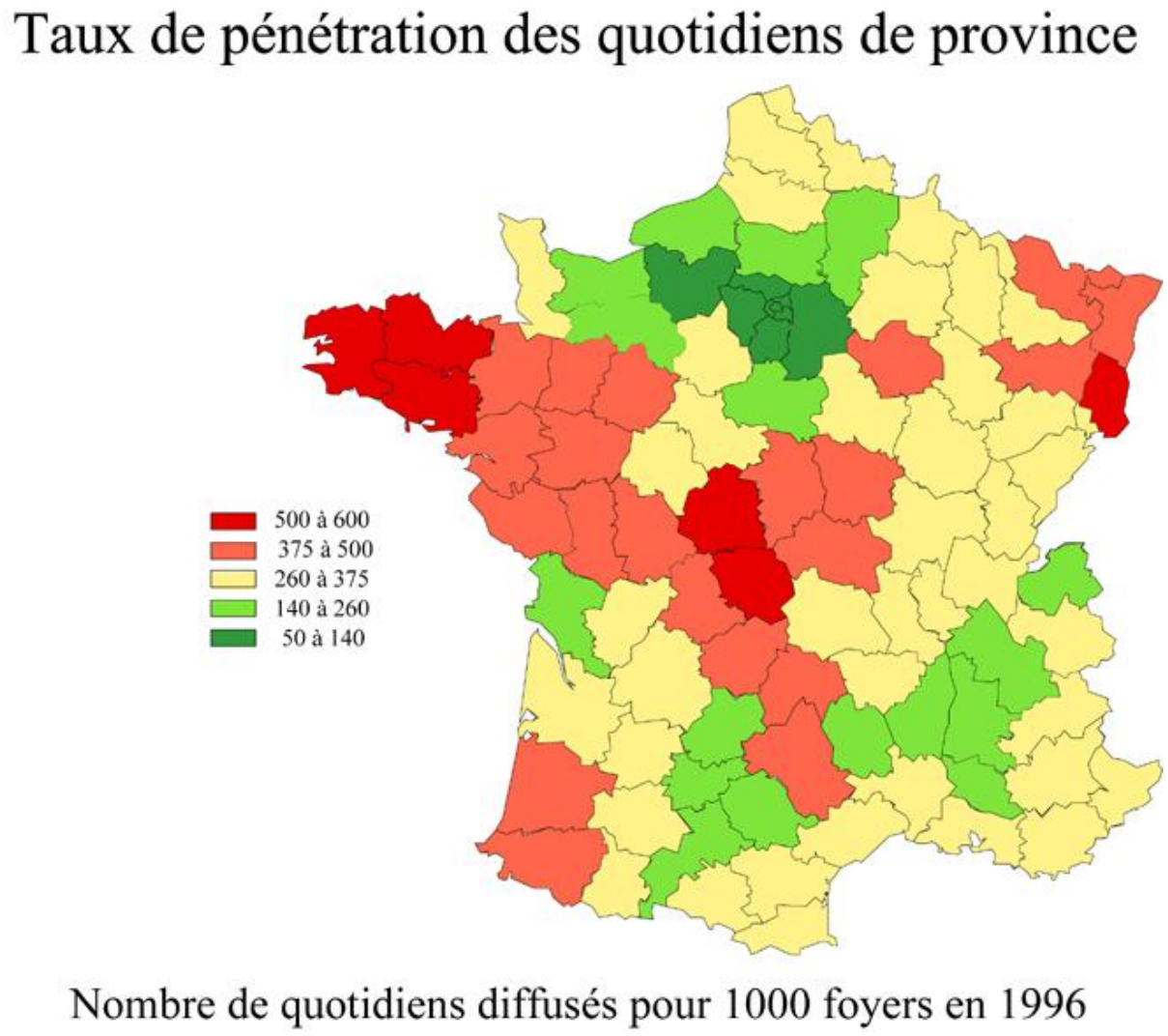
CO-469

AMÉLIORER LA CARTE TOPOGRAPHIQUE POUR LES DALTONIENS

DHEE F.
IGN, MARNE LA VALLÉE, FRANCE

Il y a une cinquantaine d'années, la couleur pouvait être considérée comme un luxe (Bertin 1967), cela était essentiellement dû aux coûts de création et d'impression des documents (Robinson et al. 1995). Mais bien avant, des cartographes (Robinson 1952) pointaient déjà qu'un document noir et blanc a un impact négatif ou donne, pour Eckert, une carte trop monotone. Avec la baisse des coûts, la couleur est devenue omniprésente dans la cartographie, ne serait ce que pour des raisons d'esthétique et d'attractivité (Brunet 1987).

Mais, si la couleur rend la carte plus plaisante et que, sans conteste (Robinson 1952, Robinson et al. 1995), elle facilite sa lecture et l'accès en général à l'information (Dürsteler 2006), la colorisation des cartes pose problème à une partie de la population : les daltoniens (terme générique usuel pour Déficient Visuel de la Couleur, DVC). En effet, environ 8 % des hommes et 0.5% des femmes ont une déficience plus ou moins marquée de la vision des couleurs. Ces personnes auront, au mieux, du mal à comprendre l'information et, au pire, celle-ci deviendra inaccessible (figure 1).



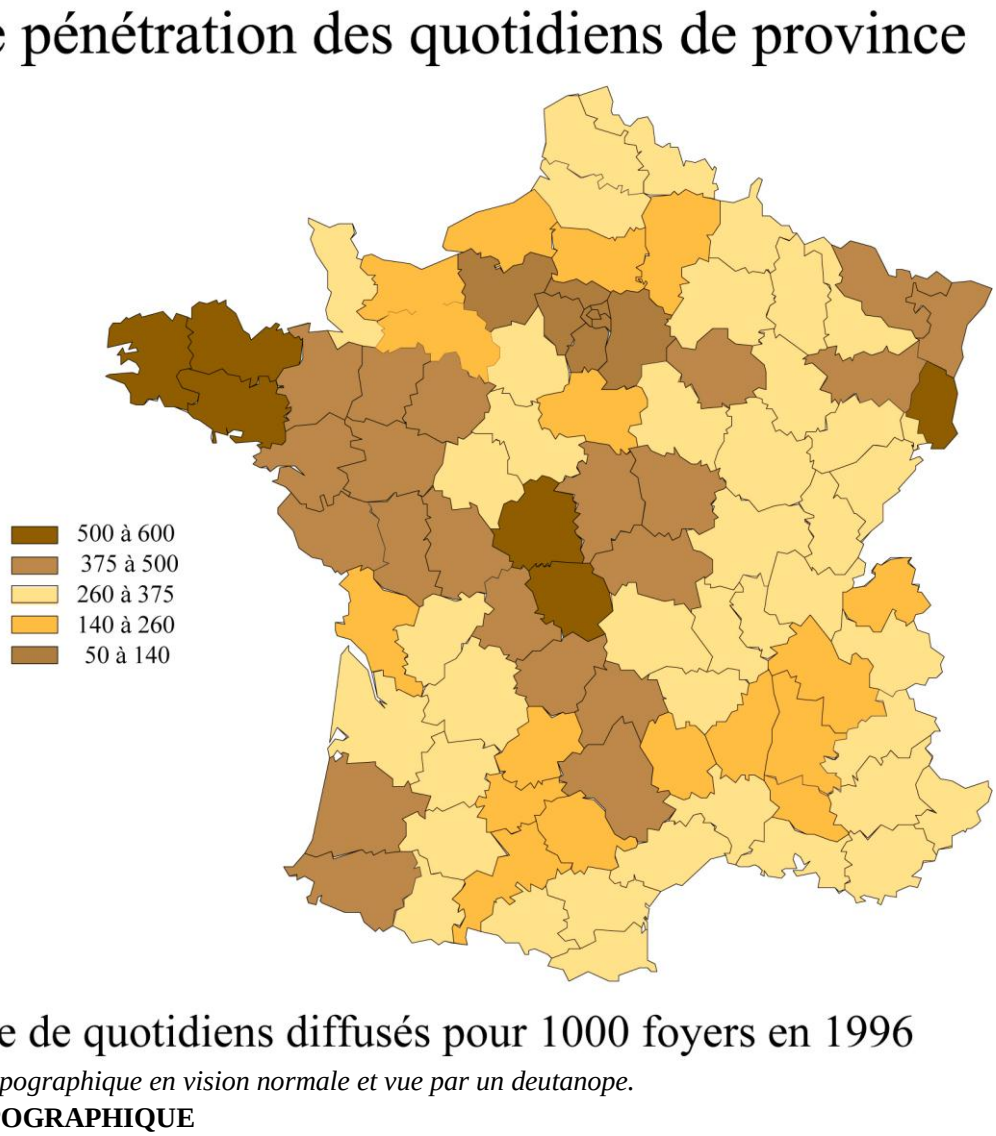


Figure 1 : carte topographique en vision normale et vue par un deutanope.

LA CARTE TOPOGRAPHIQUE

Cet article se propose d'étudier la problématique des daltoniens appliquée aux cartes topographiques et en particulier à la carte topographique française de l'IGN. Il s'agit d'améliorer cette carte selon deux axes :

- Conserver la carte en introduisant les variations les plus faibles possibles de la légende actuelle,

- Proposer une légende originale uniquement destinée aux DVC. Toutefois, comme on le verra par la suite, cette solution n'est pas primordiale. Elle ne sera pas étudiée dans cet article.

Dans les deux cas, la carte se doit d'être accessible (tous les objets sont visibles) et lisible (la signification des symboles est évidente ou trouvée dans une légende facilement mémorisable). Lla carte doit être le plus esthétique possible pour garder son attractivité car c'est un critère important pour les utilisateurs (Robinson et al. 1995).

D'un point de vue sémiologique, sur la carte topographique le cartographe veut que tous les objets soient plus ou moins au même niveau, tandis que pour les cartes thématiques une information sera mise en avant par rapport au fond (souvent topographique). Les propriétés définies par Bertin (Bertin 1967, Brunet 1987) recherchées sont de l'associativité et de la différenciation. Pour l'associativité, il faut percevoir immédiatement les grandes familles : routier, végétation, hydrographie… et pour la différenciation il faut bien séparer les objets entre eux et dans les familles (broussailles, feuillus, conifères…). Suite à ces observations, les surfaciques seront plutôt dans des teintes pâles pour amoindrir leur impact visuel et les objets plus fins, comme les linéaires, ou plus petits comme les ponctuels, seront dans des teintes foncées pour qu'ils soient plus visibles.

LA CARTOGRAPHIE POUR DALTONIEN

Divers travaux ont déjà été réalisés sur la cartographie pour les daltoniens. Dans « Elements of cartography » (Robinson et al. 1995), des propositions de base sur les choix de couleurs pour DVC sont proposées. Ce

sont des recommandations générales tournées vers l'efficacité et qui ne tiennent pas compte du type de déficience ou de choix esthétiques (figure 2). Le logiciel « ColorBrewer2 » de Cinthya Brewer propose des gammes de couleurs (différentielles ou ordonnées) pour des cartes statistiques ou thématiques lisibles par les DVC tous types confondus (figure 3) (Olson et al. 1997, Brewer 1999) ; l'efficacité de ce site a été confirmée par les travaux de Gardner (Gardner 2005) qui a testé ces solutions sur un panel de DVC. Cette solution est donc efficace au niveau de l'accessibilité à l'information, mais elle n'a pas été expérimentée, ni en terme de logique d'adéquation couleur/objet (exemple : bleu/rivière ou vert/végétation) qui influe sur la rapidité d'accès à l'information, ni en terme d'esthétique du rendu final pour le public considéré. Or, comme il est mentionné dans « Element of cartography » pour ceux qui perçoivent correctement la couleur, ces deux points sont importants : « From earliest times, color has been applied to maps, both for decoration and to improve the communication of mapped information » (Robinson et al. 1995).

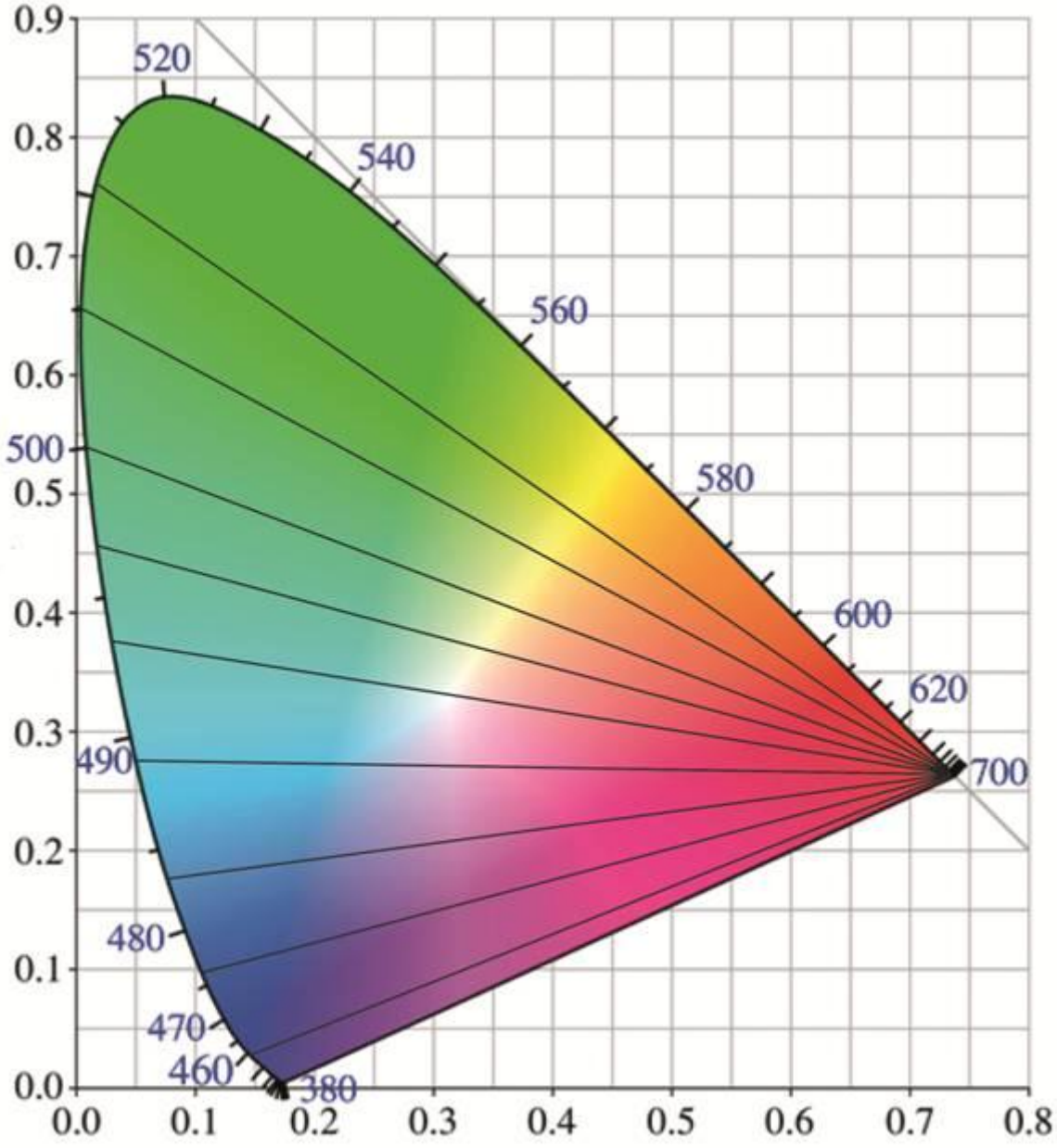


Figure 2 : diagramme CIE avec les lignes de confusion des protans (DVC dans le rouge), il est recommandé de choisir des couleurs sur le bord gauche.

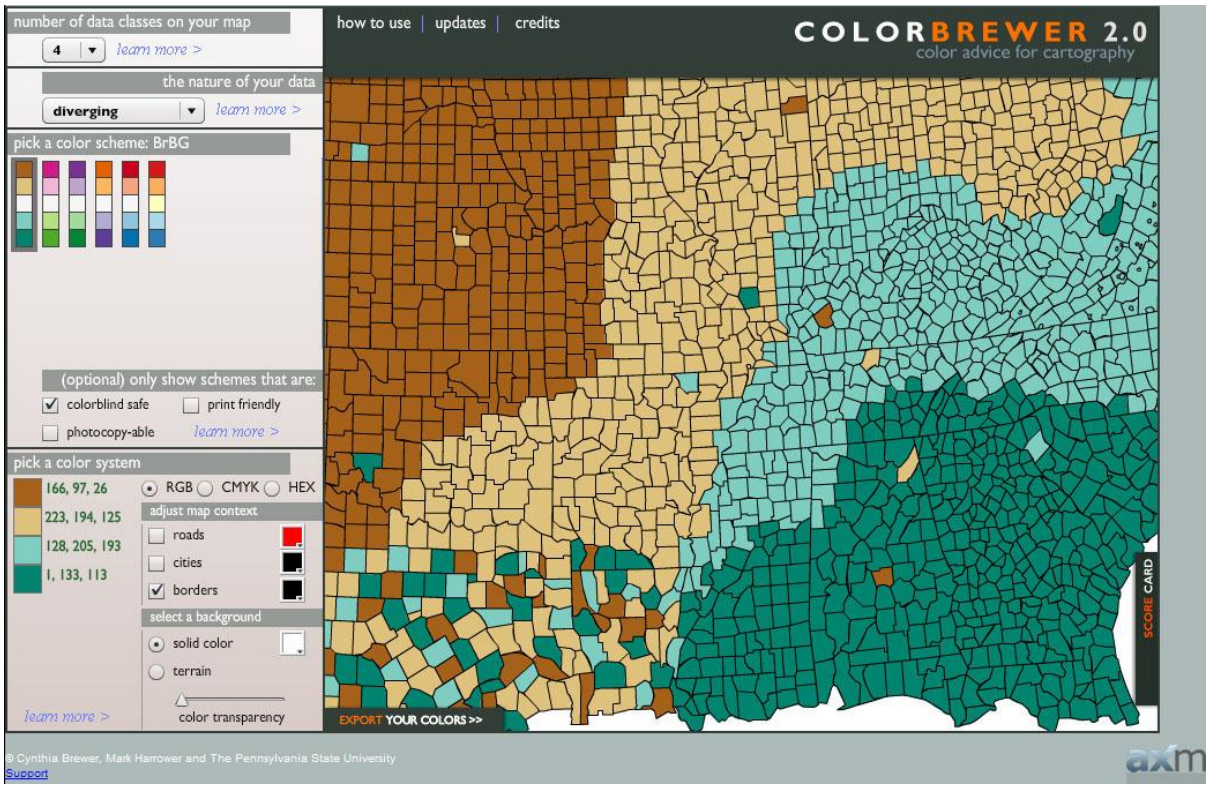


Figure 3 : copie d'écran de Colorbrewer2, exemple de légendes pour DVC.

MÉCANISME DE LA VISION ET DÉFICIENCES VISUELLES DE LA COULEUR

Le fond de l'œil humain est tapissé par la rétine qui permet de recevoir l'information visuelle. La rétine est composée de bâtonnets et de cônes. Les bâtonnets captent les variations de luminosité, ils seront mis à contribution, en particulier, pour la vision scotopique (vision nocturne) et les cônes captent la couleur et permettent la vision photopique (vision diurne). Dans l'œil humain normal, il y a trois types de cônes :

- les cônes L sensibles au rouge (580 nm),
- les cônes M sensibles au vert (545 nm),
- les cônes S sensibles au bleu (444 nm).

Les personnes dont la rétine est pourvue des trois types de cônes sans déficiences sont appelées trichromates, ils voient « normalement » la couleur. Les dyschromatopsies, sont des anomalies accidentelles ou congénitales dans la perception des couleurs (définition CNRTL), elles sont d'ordre génétique à 99%. Elles proviennent, soit de l'absence d'un pigment, on parlera de dichromates, soit de la déficience d'un pigment, on aura alors des trichromates anormaux (tableau 1) (Viénot 1998 – 99, Gregory 2000, Leid 2001, Lanthony 2005, Sève 2009)

	Cône L (rouge)	Cône M (vert)	Cône S (bleu)
Absence des trois pigments	Achromate (monochromate) très rare		
Absence d'un pigment	Protanopie	Deutéranopie	Tritanopie
Effectifs H/F (en %)	1/0,02	1,1/0,01	Très rare
Déficience d'un pigment	Protanomalie	Deutéranomalie	Trinanomalie
Effectifs (en %)	1/0,02	4,9/0,38	Très rare

Tableau 1 : Types de déficiences et répartition dans la population.

LE QUESTIONNAIRE ET LA POPULATION TESTÉE

L'étude se base sur une campagne de test réalisée sur un large panel de daltoniens. Le test comprend plus de 150 questions dont la moitié sur la carte topographique. Il durait en moyenne 1h30 par personne (de 1h05 à 2h10). Au niveau du protocole, tous les tests ont été réalisés sur les mêmes documents, imprimés sur une imprimante calibrée du service d'impression de l'IGN et conservés à l'abri de la lumière. Pour

l'éclairage il y avait : la lumière du jour (fenêtre placée du bon côté pour les droitiers ou gauchers) plus l'éclairage des bureaux (néons classique) et une lampe lumière du jour de 65 watts. La solution de test sur écran n'a pas été retenue à cause de la trop grande variabilité de la couleur en fonction de la place de l'œil de l'observateur par rapport à l'écran.

Le test a été accompli par 46 daltoniens et 10 trichromates normaux, tous volontaires et non rémunérés (tableau 2).

	Nombre	Âge			H/F
		< 20 ans	entre 20 et 60 ans	> 60 ans	
Deutan	29	4	22	3	28/1
Protan	8	0	8	0	8/0
Tritan	1	0	1	0	1/0
Normaux	10	0	10	0	6/4
Non retenus	6	0	6	0	5/1

Tableau 2 : Répartition selon le type, l'âge et le sexe des personnes testées.

Le test débute par un Farnworth D15 (rangement de jetons de couleur par plus proche voisin) pour créer les classes selon les types de déficiences puis il porte sur des questions générales (âge, métier…).

Ensuite, la première partie se focalise sur la cartographie. Il y a quelques questions sur les cartes thématiques (non traitées ici), mais l'essentiel du questionnaire concerne la carte topographique. D'abord pour étudier la perception générale des cartes en croisant des mots clés (belle, lisible, foncée…) avec des jeux tests de petites cartes extrêmes dans le choix des couleurs d'une part et d'autre part avec des cartes existantes (carte routière, topographique et touristique). Ensuite la lecture de points particuliers de la carte topographique (lecture de trames, montrer une gare, un chemin de randonnée…) est abordée avec l'enregistrement des temps de réponse.

La seconde partie concerne des variations de couleurs de la carte topographique.

La dernière partie (non traitées ici), traite des comparaisons de valeurs et de teintes de 36 couples de couleur.

Tous les commentaires oraux étaient notés au fur et à mesure pour enrichir et préciser les résultats.

LES RÉSULTATS

Tout d'abord, le test et les commentaires oraux permettent de montrer qu'un daltonien, selon son degré de déficience, va réfléchir à la couleur plutôt que voir la couleur. L'utilisation de la couleur pour un daltonien est une construction mentale plutôt qu'une vision instinctive et évidente. Il ne fera la démarche de lire la carte que s'il pense qu'elle peut aboutir, sinon il lira la carte, au mieux, en « monochrome ». Exemple de phrase relevée pendant le test : « il faut que la carte exprime directement quelque chose sinon… ».

a) Cartographie, perception de la carte

Un extrait de carte de 5,5 x 5,5 cm a été reproduit 24 fois dans des teintes très différentes allant de monochromes (noir, vert…) à des polychromes très soutenus (figure 4). Pour chaque mot clé, les personnes testées pouvaient choisir 1 ou 2 extraits.

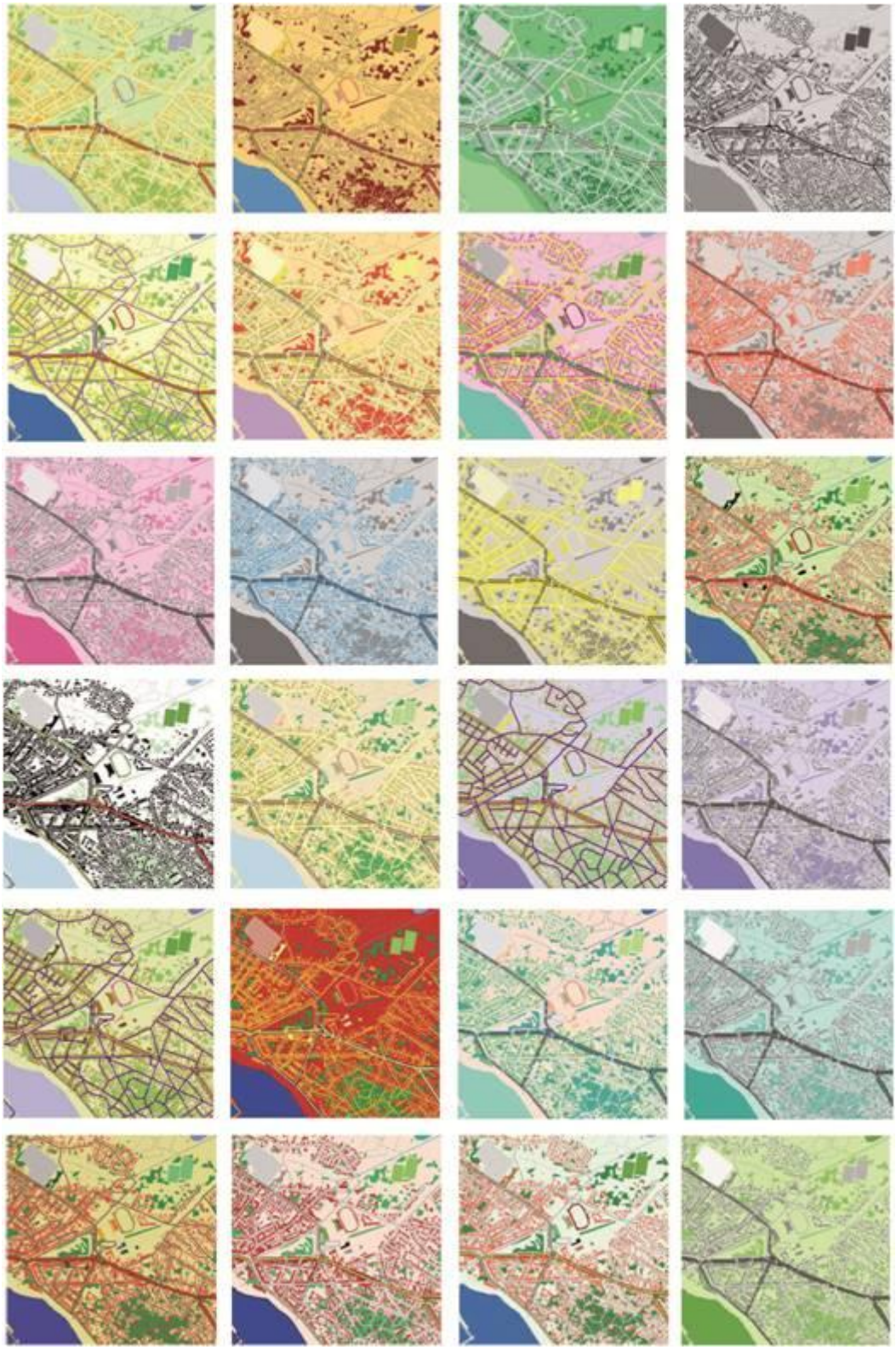


Figure 4 : Les 24 pavés de couleurs (réduits à 35%). La carte topographique est l'extrait numéro 13.

Les résultats pour la carte topographique (tableau 3) sont finalement assez semblables entre les trois familles deutan, protan et normaux. En général elle est considérée comme (en pourcentage du nombre de fois où l'extrait a été cité) :

- 25 à 45% : classique,
- 17 à 30% : lisible, précise, réaliste, riche
- 7 à 17% : contrastée, sobre, belle, lumineuse

- 0 à 5% (0% pour la plus part) : chaude, équilibrée, originale, pastel, aérée, gaie, foncée, claire (contraire de foncée), colorée, terne et enfin confuse.

Les deutans et normaux ont des courbes assez proches, quelques amplitudes sont différentes mais sans écarts significatifs. Les protans s'écartent plus des deux premières courbes surtout pour les mots clés lumineuse et sobre. Pour le terme lumineuse, ils ont préféré des cartes sans noir (les maisons) et plus pâles ; le terme sobre était, semble t'il compris de manière plus variable.

Dans l'ensemble ce sont des mots clés positifs qui ressortent (classique, précise, réaliste…), ce qui nous conduit à penser que la carte topographique est bien perçue et appréciée. Cela renforce l'idée de conserver la légende actuelle avec juste des modifications légères.

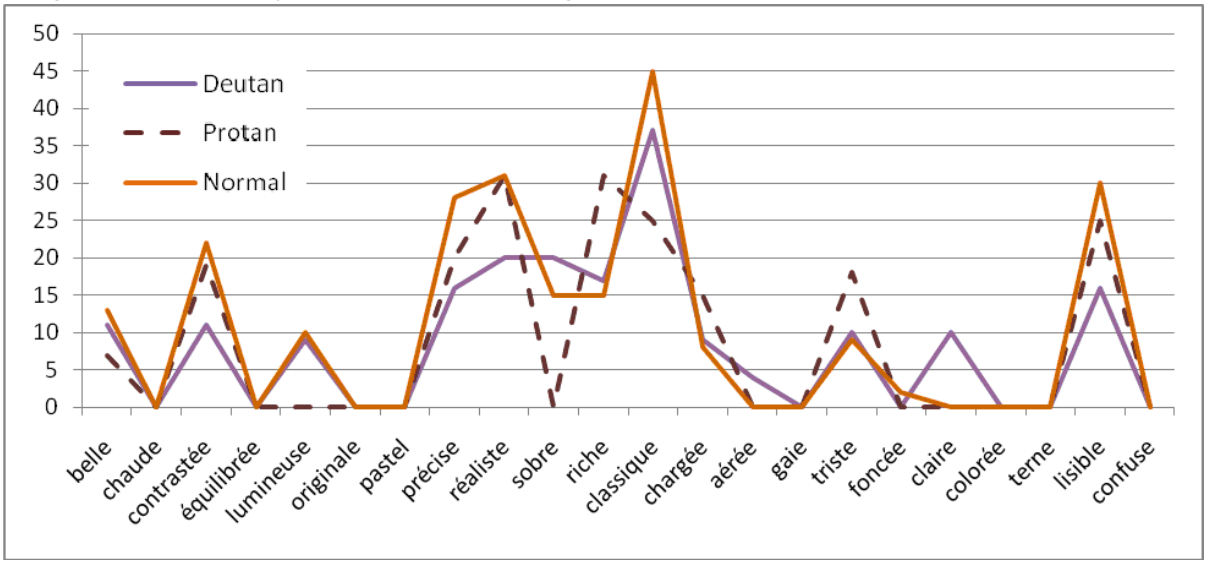


Tableau 3 : Résultats de l'extrait « carte topographique » par mots clés utilisés.

b) Cartographie, lectures de carte

Les questions de cette partie s'appuient sur un extrait de la carte topographique des Vosges au 1/25000 qui mesure 27 x 33cm. Les divers types de végétation couvrent plus de la moitié de la carte. Il y a une seule gare à Obernai (l'écriture est ré-haussée par un bandeau rose sur un fond topographique très gris) et les chemins de randonnée sont très nombreux (figure 5).

- Surfaciques

Les bois de divers types (feuillus, conifères…) sont correctement et rapidement perçus (cyan 17%, jaune 32%). Il peut y avoir des hésitations sur les vignes et les vergers car la trame, plus serrée, crée un pseudo fond vert pâle. Nous pouvons conserver les bois, mais il faudrait aérer un peu les trames vigne et verger. Il n'y avait pas, évidemment de grande surface d'hydrographie en bleu clair, toutefois à d'autre moment du test, il est apparu que le bleu (cyan 31%) utilisé pour les étendues d'eau était très souvent confondu avec du rose (magenta 40%). Il serait recommandé de foncer légèrement ce bleu car plus on augmente la saturation, moins il y a de risque de confusion.

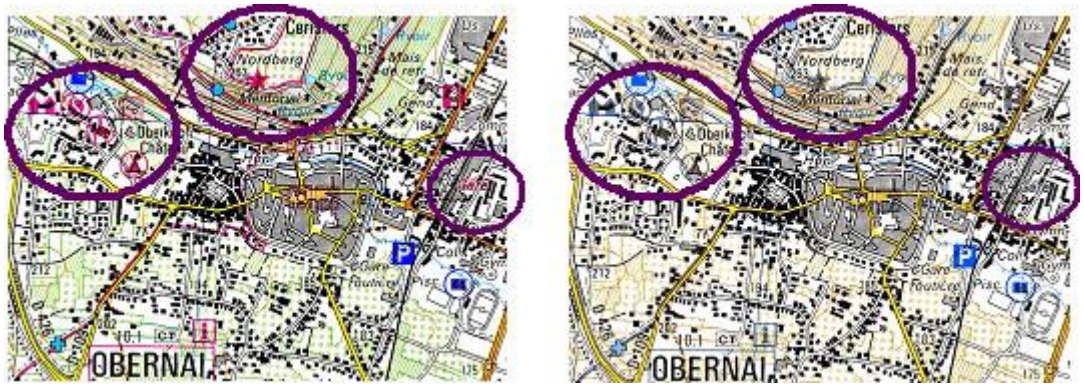


Figure 5 : Mauvaise perception des gares, des campings et des chemins de randonnée, à gauche vision normale et à droite vision d'un deutéranope.

- Linéaires

Les routes sont dans l'ensemble bien perçues, surtout les routes jaunes en forêt. Sur une des cartes testées, une carte touristique au 1/100000, les deutans ont trouvé les routes jaunes sur un fond général de bois « bien » à 40% et « très bien » à 48%, ces résultats sont probablement en lien avec le contraste simultané. Il y a quand même deux types de routes qui se confondent : les routes rouges et orange, nous verrons par la suite les tests sur celles-ci.

Le point d'achoppement pour les linéaires, sont les traits fins en général. Pour 33% des deutans, il y a de gros problèmes de confusion entre les haies (vert, Cyan 100% Jaune 100%), les courbes de niveau (orange, M65 J100), les chemins (noir, N100) et les chemins de randonnée (magenta, M100). Pour éviter ces confusions, on peut facilement changer le symbole des haies, en revenant à l'ancienne représentation de points verts alignés serrés. Pour les chemins, il est plus difficile de changer la forme (risque de confusion avec les limites administratives) ou la taille (confusion avec les voies ferrées). Enfin les chemins de randonnée et les courbes de niveau seront vues au chapitre suivant (tableau 4).

- Ponctuels

Les symboles ponctuels bleus, comme les parkings, piscines… sont correctement perçues (figure 5), par contre les symboles magenta, tennis, campings… posent problème car ils perdent tout contraste de couleur avec le fond topographique. Dans le tableau 4, on peut voir les temps d'accès à l'information qui sont quadruplés pour les DVC et un taux d'échec important (21%) pour les deutans. Pour les écritures surlignées en rose (gare ferroviaire…) le problème est identique, le rose se perd dans le fond gris. Les échecs sont aussi importants et 68% des deutans déclarent n'avoir trouvé la gare qu'avec l'écriture, sans voir le bandeau rose. Il est a noté, en référence aux propos du début de ce chapitre, que les trois-quarts des deutans n'ayant pas vue le bandeau rose, « pouvaient » le voir une que nous leur avions montré.

Des solutions sont encore à tester, comme par exemple remplir le fond des symboles magenta, de jaune transparent (figure 6).

	Deutan				Protan				Normaux
	Echec	T1*	T2**	Ecriture*** Symbole	Echec	T1*	T2**	Ecriture*** Symbole	T1
Gare	6 (21%)	20	30	15 (68%)	1 (12,5%)	20	25	3 (43%)	5
Chemin de randonnée	11 (39%)	20	40	5 (23%)	1 (12,5%)	15	25	1 (14%)	5
Camping	6 (21%)	20	30	/	1 (12,5%)	15	20	/	2

T1* : temps moyen sans les échecs.
T2** : temps moyen avec les échecs comptés pour 70 secondes (temps minimum d'essai en cas d'échec).
Ecriture, symbole*** : nombre de ceux qui ont trouvé avec l'écriture (gare) ou le symbole (chemin de randonnée) et pourcentage hors échec. A noter que les chemins de randonnée étaient vus avec un symbole qui indique autre chose (coureur à pied pris pour un marcheur).

Tableau 4 : Temps d'accès à quelques informations ponctuelles.

L'ordre des questions était : gare, chemin de randonnée et camping,

Il y a eu un effet de mémorisation de la carte pour les campings.

c) Variations de la carte topographique

Dans le test, il était proposé, 6 pavés de cartes dont les couleurs étaient identiques sauf pour un type d'objet par page de test : route rouge, route orange, chemin de randonnée, courbes de niveau, bois et limite de parc. Les personnes interrogées indiquaient une ou plusieurs cartes où la discrimination par rapport au fond s'améliorait puis une nouvelle question portait sur la dégradation. Les modifications consistaient soit à baisser ou augmenter une des couleurs présente, soit à en ajouter une nouvelle. Le but, étant de valider l'intérêt de modifications dans le sens d'un renforcement du contraste en utilisant la variable valeur. Si l'on prend l'exemple de routes oranges et rouges, les premières seront légèrement jaunies (+10% jaune ou -10% de magenta) et les secondes foncées (+10% cyan, le magenta est déjà à 100%) ce qui permettra, même si elles sont vues dans le même ton (brun) de renforcer la lisibilité par la valeur (routes oranges plus claires, rouges plus foncées).

	Amélioration de la perception						Dégradation de la perception					
	c+	c-	m+	m-	j+	j-	c+	c-	m+	m-	j+	j-
Route rouge	33			26		41	19			74		7
Chemin de randonnée	75			5	20		7			93	0	
Route orange	10			90		0	68			4		28
Bois	32		4		64		50		32		18	
Limite de parc	60	5	10		20	5	5	84	0		0	11
Courbe de niveau	18		70	9		3	3		8	76		13

• Légende : c = cyan, m = magenta, j = jaune, les cases grises indiquent qu'il n'y avait pas d'extrait de carte pour ce cas dans les pages de test.

Tableau 5 : Amélioration et dégradation de la discrimination en pourcentage des réponses.

On peut analyser les résultats thème par thème :

- Route rouge (M100, J100) : c'est la question pour laquelle les résultats sont le plus mitigés. Il semble que les testés veulent foncer ces routes, soit en ajoutant du cyan (33%), soit en enlevant du jaune (41%) ce qui, pour un deutan bleuira la route, mais d'un autre côté, 19% pensent qu'ajouter du cyan est une dégradation. En général, baisser le magenta n'est pas une solution (74%) car on rapproche les routes rouges des routes orange ce qui a pour conséquence de diminuer la discrimination.
- Chemin de randonnée (M100) : comme pour les routes rouges, mais de manière plus franche, il faut foncer en ajoutant du cyan et, à l'opposé, baisser le magenta renforce les confusions avec les courbes de niveau.
- Route orange (M50, J100) : à l'unanimité, il faut baisser le magenta (90%), pour s'écarter de la couleur des routes rouges ; attention, il ne faut pas en soustraire trop, au risque de se rapprocher des routes jaunes. Ajouter du cyan ou retirer du jaune sont de mauvaises solutions car les routes orange deviendraient plus foncées, ce qui entraînerait des confusions avec les routes rouges.
- Bois (C17, J32) : Ajouter du jaune est une bonne solution, mais au-delà de 15% les DVC trouvent que les bois deviennent trop visibles.
- Limite de parc : augmenter le cyan les rend très visibles et au contraire le baisser ne permet plus de les suivre dans les zones denses.
- Courbes de niveau (M65, J100) : les foncer en ajoutant du magenta est une amélioration pour les DVC randonneurs … pour les autres, elles deviennent trop visibles. Baisser le magenta augmente les confusions avec les autres linéaires fins comme les haies.

En résumé de ces observations, on peut améliorer la carte agissant sur les points suivants :

- Ajouter 10% de cyan dans les routes rouges et les chemins de randonnée,
- Baisser le magenta de 10% dans les routes orange,
- Augmenter de 10% le jaune dans les bois,
- Augmenter de 10% le cyan dans les limites de parc,
- Augmenter de 10% le magenta dans les courbes de niveau.

Ces pourcentages, assez faibles, ont peu d'impact pour les personnes qui perçoivent bien la couleur mais sont significatifs pour les DVC et en particulier les deutans.

CONCLUSION

L'étude montre que dans l'ensemble, la carte topographique est appréciée par les déficients visuels de la couleur. Elle a une bonne image et elle ne « rebute » pas les daltoniens car elle est rapidement accessible. Il a été montré que des changements intentionnellement faibles, pour ne pas être perçus par les personnes voyant bien la couleur, renforceraient l'accessibilité à l'information. Quelques changements plus visibles : haies qui passeraient en points, bandeau rose des écritures en jaune sont souhaitables.

De nouvelles cartes modifiées ayant été réalisées (figure 6 et 7), les premiers tests montrent que les daltoniens peuvent retrouver l'envie d'utiliser la couleur pour comprendre la carte et surtout l'information transmise, envie qui faisait défaut car souvent insatisfaite et renvoyant à une situation d'échec.

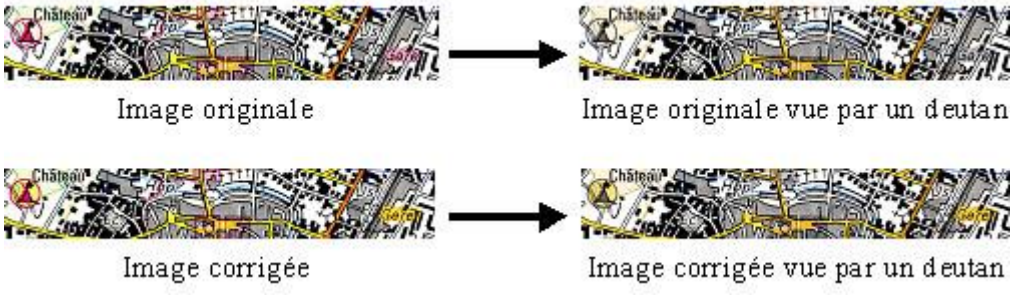


Figure 6 : propositions d'évolutions basées sur l'ajout de jaune.

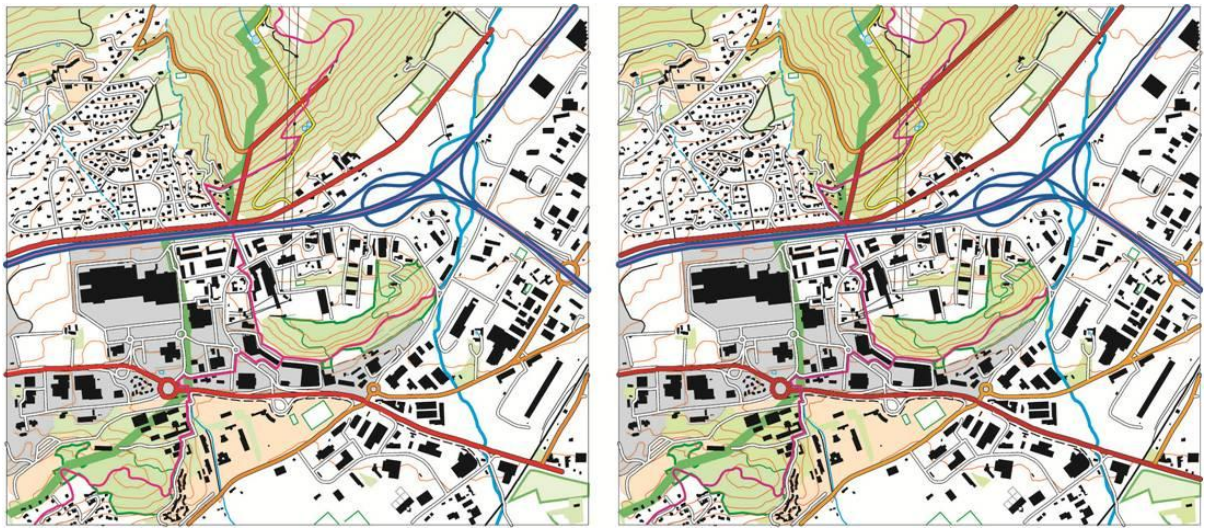


Figure 7 : propositions d'évolutions légères.

Les évolutions, de l'ordre en général de 10%,
sont très sensibles à la qualité d'impression.

BIBLIOGRPAHIE

Bertin Jacques – 1967 - La sémiologie graphique, Paris Gauthier-Villard

Brewer Cynthia A. - 1999 – Color use guidelines for data representation, Proceedings of the Section on Statistical Graphics, American Statistical Association, Baltimore, pp. 55-60

Brunet Roger - 1987 - La carte, mode d'emploi, Fayard/Reclus

Gardner Steven D. – 2005 - Evaluation of the color brewer color schemes for accomodation of map readers with impaired color vision, Thèse

Gregory Richard L. - 2000 – L'œil et le cerveau, DeBoeck Université

Lanthony Philippe – 2005 - Daltonisme et activité humaine, Maloine

Leid Jean - 2001 – Les dyschromatopsies, Bulletin des sociétés d'ophtalmologie de France

Sève Robert - 2009 - Science de la couleur, aspects physiques et perceptifs, Chalagam éditions

MacEachren A. M. - 1995 - How maps work: Representation, visualization, and design, New York Guilford Press

Olson Judy M., Brewer Cynthia A., 1997, An evaluation of color selections to accommodate map users with color vision impairments, Annals of the Association of American Geographers 87, pp103-134

Robinson Arthur H. - 1952 - The look of maps, Madison Wisconsin

Robinson A. H, Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimerling A. J., Guptill F. C. – 1995 - Elements of cartography, Wiley

Viénot Françoise – 1998 - Perception de la couleur, Vision aspects perceptifs et cognitifs pp 149-168, Solal

Viénot Françoise, Brettel Hans, Mollon John D. – 1999 - Color Research and Application, 24 : pp 243-252

SITES

http://colorbrewer2.org/

http://www.infovis.net/printMag.php?num=183&lang=2

http://www.merione.net/templates/akomojo/categories/damien/daltonisme/daltonisme.htm

http://www.snof.org/vue/couleurs1.html
http://www.toledo-bend.com/colorblind/
http://www.vischeck.com